

DOCKET NO.: 264197US0PCT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Shinsuke SADAMITSU, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/JP03/08333

INTERNATIONAL FILING DATE: June 30, 2003

FOR: HIGH-RESISTANCE SILICON WAFER AND ITS MANUFACTURING METHOD

**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**  
**AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**

Commissioner for Patents  
Alexandria, Virginia 22313

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<b><u>COUNTRY</u></b>	<b><u>APPLICATION NO</u></b>	<b><u>DAY/MONTH/YEAR</u></b>
Japan	2002-208515	17 July 2002

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/JP03/08333.

Respectfully submitted,  
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Norman F. Oblon  
Attorney of Record  
Registration No. 24,618  
Surinder Sachar  
Registration No. 34,423

Customer Number

**22850**

(703) 413-3000  
Fax No. (703) 413-2220  
(OSMMN 08/03)

04.08.03

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 19 SEP 2003

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2002年 7月17日  
Date of Application:

出 願 番 号 特願2002-208515  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP2002-208515]

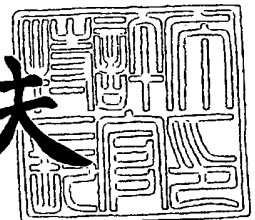
出 願 人 三菱住友シリコン株式会社  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 9月 4日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特2003-3072131

【書類名】 特許願

【整理番号】 P3355

【提出日】 平成14年 7月17日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造殿

【国際特許分類】 C30B 29/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内

【氏名】 定光 信介

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内

【氏名】 高瀬 伸光

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内

【氏名】 高尾 浩之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内

【氏名】 末岡 浩治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目2番1号 三菱住友シリコン株式会社内

【氏名】 宝来 正隆

【特許出願人】

【識別番号】 302006854

【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目2番1号

【氏名又は名称】 三菱住友シリコン株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100059373

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区瓦町4丁目6番15号（瓦町浪速ビル）

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 生形 元重

【電話番号】 06-6201-3851

## 【代理人】

【識別番号】 100088498

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区瓦町4丁目6番15号（瓦町浪速ビル）

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 吉田 正二

【電話番号】 06-6201-3851

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008590

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0203110

【包括委任状番号】 0203108

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 高抵抗シリコンウエーハ及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】  $100\ \Omega\text{cm}$ 以上の比抵抗値を有する CZ シリコンウエーハであって、該ウエーハ中の炭素濃度が  $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$  である高抵抗シリコンウエーハ。

【請求項 2】 前記ウエーハ中の酸素濃度が O1d-ASTM で  $8 \times 10^{17}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$  超である請求項 1 に記載の高抵抗シリコンウエーハ。

【請求項 3】 前記ウエーハ表面から少なくとも  $5\ \mu\text{m}$  以上の深さにわたって DZ (Denuded Zone) 層が形成された請求項 1 または請求項 2 に記載の高抵抗シリコンウエーハ。

【請求項 4】 前記ウエーハ表面上で観察される  $0.12\ \mu\text{m}$  サイズ以上の LPD (Light Point Defect) 密度が  $0.2\ \text{個}/\text{cm}^2$  以下に制御された請求項 1 ～請求項 3 のいずれかに記載の高抵抗シリコンウエーハ。

【請求項 5】 請求項 1 ～請求項 4 のいずれかに記載の高抵抗シリコンウエーハをベースウエーハとしたエピタキシャルウエーハ。

【請求項 6】 請求項 1 ～請求項 5 のいずれかに記載の高抵抗シリコンウエーハをベースウエーハとした SOI ウエーハ。

【請求項 7】 貼り合わせウエーハ又は SIMOX ウエーハである請求項 6 に記載の SOI ウエーハ。

【請求項 8】  $100\ \Omega\text{cm}$ 以上の比抵抗値を有し、炭素濃度が  $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$  であるシリコンウエーハに、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を施すことを特徴とする高抵抗シリコンウエーハの製造方法。

【請求項 9】 熱処理後の残留酸素濃度を O1d-ASTM で  $8 \times 10^{17}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$  超とする請求項 8 に記載の高抵抗シリコンウエーハの製造方法。

【請求項 10】 前記熱処理は  $800\ ^\circ\text{C}$  以上の高温熱処理である請求項 8 に記載の高抵抗シリコンウエーハの製造方法。

【請求項 11】 前記熱処理は、ウエーハ表層部に DZ (Denuded Zone) 層を形成するための酸素外方拡散処理である請求項 8 に記載の高抵抗シリコンウエーハの製造方法。

ーハの製造方法。

【請求項 12】 前記酸素外方拡散処理の後に酸素析出核形成熱処理、又は酸素析出核形成熱処理及び酸素析出物成長熱処理を行うことを特徴とする請求項 11 に記載の高抵抗シリコンウエーハの製造方法。

【請求項 13】 前記熱処理は、ウエーハ表層部から空孔起因のボイド欠陥である COP を除去するための高温アニールである請求項 8 に記載の高抵抗シリコンウエーハの製造方法。

【請求項 14】  $100\ \Omega\text{cm}$  以上の比抵抗値を有し、炭素濃度が  $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$  である高抵抗シリコンウエーハをベースウエーハとして SIMOX 型 SOI ウエーハを製造することを特徴とする SOI ウエーハの製造方法。

【請求項 15】 SIMOX 型 SOI ウエーハ製造プロセスにおける BOX 層形成用の高温熱処理が、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねる請求項 15 に記載の SOI ウエーハの製造方法。

【請求項 16】  $100\ \Omega\text{cm}$  以上の比抵抗値を有し、炭素濃度が  $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$  である高抵抗シリコンウエーハをベースウエーハとして貼り合わせ型 SOI ウエーハを製造することを特徴とする SOI ウエーハの製造方法。

【請求項 17】 貼り合わせ型 SOI ウエーハ製造プロセスにおいて付与される高温熱処理が、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねる請求項 16 に記載の SOI ウエーハの製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、高周波通信デバイスにおける支持基板等を使用される高抵抗シリコンウエーハ及びその製造方法に関する。

#### 【0002】

#### 【従来の技術】

近時、近距離無線 LAN に使用される高周波通信デバイスの普及に伴い、高抵

抗基板の需要が増大している。高抵抗が要求される R F (Radio Frequency : 高周波) 回路の支持基板には、従来は G a A s などの化合物半導体基板が用いられることが多かった。しかしながら、このような化合物半導体基板は非常に高価である。

#### 【0003】

一方、シリコン CMOS は、消費電力が大きく、R F 回路には不適と考えられていたが、近時の著しい微細化や設計の進展によって R F 回路にも適用可能となってきた。このため、チョクラルスキー法 (C Z 法) による高抵抗結晶を使った鏡面シリコンウエーハや S O I (Silicon On Insulator) ウエーハなどの、R F 特性に優れ且つ経済性に優れた高抵抗のシリコンウエーハが、G a A s などの化合物半導体基板に代わって注目を集めている。

#### 【0004】

しかしながら、C Z 法によるシリコン単結晶の製造では、石英ルツボを使用して結晶育成を行っているため、その結晶中に酸素が過飽和な状態で含有されることになり、この酸素がデバイスの回路形成プロセスの熱処理過程においてサーマルドナー (T D) やニュードナー (N D) といった酸素ドナーを形成するため、デバイスメーカーの側でウエーハの抵抗率が不安定に変動するという大きな問題がある。

#### 【0005】

図 1 は酸素ドナーがウエーハの抵抗率に与える影響を示している。ドーパントを添加された通常の低抵抗ウエーハの場合、酸素ドナーがウエーハの抵抗率に与える影響は軽微であり、実操業上は問題にならない。ところが、ドーパントが制限された高抵抗ウエーハの場合は、n 型だと酸素ドナーの増加に伴って比抵抗値が激減する。p 型だと酸素ドナーの増加に伴って当初は比抵抗値が激増するが、更に酸素ドナーが増加を続けると p 型が n 型に転換して比抵抗値が激減するようになる。

#### 【0006】

このような酸素ドナーの増加に伴う抵抗率の顕著な変動の問題を解決するために通常は、MC Z 法や内面 S i C コートにより酸素の溶け込みを抑えた特別なル

ツボを用いて製造された低酸素のシリコンウエーハを使用して、酸素ドナーの形成を抑制する対策が採られるが、MCZ法や特別なルツボの使用を必要とする低酸素のシリコンウエーハは、通常のCZ法により製造される比較的酸素濃度が高い汎用のシリコンウエーハと比べてコスト高になるのを避け得ない。加えて、その低酸素化にも技術的な限界があり、一般には $6 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下は困難であり、300mmウエーハでは $8 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  程度が限界とされている。しかも、低酸素濃度のシリコンウエーハでは、酸素濃度の低減による機械的強度の低下に伴うスリップなどの問題がある。

#### 【0007】

これらの問題を解決することを目的として、例えば国際公開第00/55397号パンフレットには、CZ法により抵抗率が $100 \Omega \text{cm}$ 以上で初期格子間酸素濃度が $10 \sim 25 \text{ppma}$  [JEIDA] ( $7.9 \sim 19.8 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  [Old-ASTM]) であるシリコン単結晶ロッドを育成し、該ロッドから切り出したシリコンウエーハに酸素析出熱処理を行って、ウエーハ中の残留格子間酸素濃度を $8 \text{ppma}$  [JEIDA] ( $6.4 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  [Old-ASTM]) 以下に制限する技術が記載されている。

#### 【0008】

この技術によると、初期酸素濃度が高い汎用のシリコンウエーハを使用することにより、初期ウエーハの製造コストが安価となる。初期酸素濃度が高い汎用のシリコンウエーハを使用するにもかかわらず、そのシリコンウエーハに酸素析出熱処理を行うことにより、残存酸素濃度は低くなる。このため、デバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの発生が効果的に抑制される。ウエーハ中の酸素濃度を低下させる過程で、多量の酸素析出物 (BMD) が生成される。このため、ウエーハのゲッタリング能も向上する。

#### 【0009】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、国際公開第00/55397号パンフレットに記載された技術では、高酸素濃度の高抵抗初期基板を使用して多量の酸素析出物 (BMD) を生成すること、及びその多量の酸素析出物 (BMD) の生成により製品シリコンウ



ウェーハの残留酸素濃度を十分に引き下げることが必須となるが、これらに起因して以下の問題が生じる。

#### 【0010】

第1に、製品シリコンウェーハの残留酸素濃度を下げるとは、そのウェーハの機械的強度を低下させる原因となる。これは、熱処理中にウェーハ支持部などから発生したスリップ転位が酸素により固着され、その結果、スリップ長が酸素濃度の上昇とともに低下する〔M.Akatsuka et al., Jpn. J. Appl. Phys., 36 (1997) L1422〕ことから明らかである。一方、強度に影響する因子として酸素析出物(BMD)がある。BMDの強度に与える影響は複雑である。たとえばウェーハに付加される熱・自重応力がそれほど大きくない場合は、スリップ転位の運動を抑制し強度を向上させるが(国際公開00/55397)、熱・自重応力が大きい場合には、BMD自体がスリップ転位源となり、強度が低下してウェーハが反る危険性が高い(K.Sueoka et al., Jpn. J. Appl. Phys., 36 (1997) 7095)。実デバイスプロセスでウェーハに付加される熱・自重応力は、デバイス構造や熱シークェンスなどに依存し、大きくなる場合もあると予想される。それ故、ウェーハの機械的強度維持の観点からは、ゲッターリングに必要なBMDが確保されていれば、国際公開00/55397に記載のような過剰なBMD生成による残留酸素の大幅な低下は好ましくない。

#### 【0011】

第2の問題は熱処理コストである。即ち、多量の酸素析出物を生成するためには、高温で長時間の酸素析出核形成熱処理及び酸素析出物成長熱処理が必要である。このため熱処理コストが嵩み、初期ウェーハの製造コストは安価であるものの、最終製品ウェーハの価格は高くなる。

#### 【0012】

本発明の目的は、ゲッターリング能及び経済性に優れ、しかもデバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの発生を効果的に抑制でき、更には機械的強度の高い高抵抗シリコンウェーハ及びその製造方法を提供することにある。

#### 【0013】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明者らは上記問題の原因が、酸素析出物（BMD）の過剰生成、及びその過剰生成に起因する製品ウエーハ中の残留酸素濃度の顕著な低減にあると判断して、高抵抗シリコンウエーハでの酸素析出物（BMD）の生成に代わる酸素ドナー抑制策について検討した。その結果、炭素ドープが酸素ドナーの生成抑制、特にサーマルドナーの抑制に有効であること、炭素ドープに加えて熱処理を行うならばサーマルドナー及びニュードナーなどの酸素ドナーの生成がより効果的に抑制されること、及びDZウエーハや水素アニールウエーハ、更にはSIMOXや張り合わせなどのSOIウエーハなどの各種ウエーハを製造するプロセスで一般的に用いられる既存の熱処理の多くで、酸素ドナーの生成の抑制に有効な熱処理を兼用できることが判明した。

## 【0014】

炭素ドープが酸素サーマルドナーの抑制に有効なことは、比抵抗値が $100\ \Omega$ 未満の通常抵抗のウエーハでは公知である（例えば、A.B.Bean and R.C.Newman J. Phys. Chem. Solids, 1972, Vol.33, pp.255-268）。しかし、通常抵抗のウエーハで酸素サーマルドナーの生成を抑制するためには、炭素量は $1 \times 10^{18}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$ も必要になる。このような高濃度の炭素ドープは、CZ法による単結晶育成では、有転位化を促進し、単結晶化を困難にするため、現実的な対策とは言えない。ところが、比抵抗値が $100\ \Omega$ 以上の高抵抗ウエーハでは、酸素サーマルドナーの抑制に必要な添加量が、単結晶化に支障を来さない $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$ 程度の現実的なレベルにまで低減することが明らかとなった。

## 【0015】

そして、この高抵抗ウエーハにおける適量の炭素ドープによると、デバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの発生が効果的に抑制されることにより、酸素析出物（BMD）の過剰な生成が不要になり、熱処理コストが低減する。また、製品ウエーハ中の残留酸素濃度の顕著な低減が不要になり、そのウエーハの機械的強度が改善される。さらに、論文（M.Akatsuka and K.Sueoka, Jpn. J. Appl. Phys., 40 (2001) 1240）に記載のごとく、適量の炭素

ドーピングにより、さらなる機械的強度の改善が起こることになる。また、炭素ドーピングにより単結晶育成時の転位クラスターの発生が抑制されることにより、単結晶育成での無欠陥結晶領域の拡大も期待できる。

#### 【0016】

炭素ドーピングが酸素サーマルドナーの生成抑制に有効な理由は以下のとおりと考えられる。また、高抵抗ウエーハで炭素ドーピング量を低減できる理由は以下のとおりと考えられる。更に、炭素ドーピング下での熱処理により酸素ドナーの生成が抑制される理由は以下のとおりと考えられる。

#### 【0017】

炭素ドーピングが酸素サーマルドナーの生成抑制に有効な理由は完全に解明されていないが、例えばA.B.Bean and R.C.Newman J.Phys. Chem.Solids, 1972, Vol.33, pp.255-268 によれば下記のように考えられている。酸素サーマルドナーは酸素原子が4~20個集合した $O_n$ クラスターであり、400~500℃で生成する。このようなクラスターの生成の初期に炭素原子が存在すると、電氣的に不活性なサーマルドナーの前駆体である $O_2$ クラスターに炭素が捕獲され、 $C-O_2$ クラスターが生成する。このため、それ以降の電氣的に活性な $O_n$  ( $n \geq 4$ )クラスターの生成が抑制される。

#### 【0018】

また、数 $\Omega \cdot \text{cm}$ ~数十 $\Omega \cdot \text{cm}$ 程度の通常抵抗のシリコンウエーハでは、抵抗率の変動によって酸素サーマルドナーの生成を検出するためには、 $10^{14} \sim 10^{16} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ のサーマルドナーの生成が必要であり、このような密度のサーマルドナーの生成を抑制するには $1 \times 10^{18} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 程度の高濃度の炭素が必要である。しかし、100 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗シリコンウエーハの場合、 $10^{14} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 以下の酸素ドナーの生成で抵抗率が変動するため、これを抑制するのに必要な炭素ドーピング量は $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 程度に低減できる。

#### 【0019】

また、炭素ドーピングされた100 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗シリコンウエーハに800℃以上の熱処理を行うと、酸素ドナーの生成が有効に抑制されることが明らかに

なった。このような、炭素ドーピング下での800℃以上の熱処理により、酸素ドナーの生成が抑制される理由は、今のところ明確になっていないが、比較的小さなサイズの酸素クラスターであるサーマルドナーや600～750℃の熱処理時に生成する酸素析出物の初期形態と考えられているニユードナーが、800℃以上の熱処理によって成長、または分解して不活性化するためと推測される。

#### 【0020】

本発明の高抵抗シリコンウエーハは、かかる知見を基礎として完成されたものであり、100Ωcm以上の比抵抗値を有するCZシリコンウエーハであって、該ウエーハ中の炭素濃度を $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ としたものである。

#### 【0021】

また、本発明の高抵抗シリコンウエーハの製造方法は、100Ωcm以上の比抵抗値を有し、炭素濃度が $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ であるシリコンウエーハに、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理、好ましくは800℃以上の高温熱処理を施すものである。

#### 【0022】

本発明の高抵抗シリコンウエーハにおいては、ウエーハ中の炭素濃度を $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ としたことにより、残留酸素濃度を高レベルに維持しつつ、酸素サーマルドナーの発生を抑制でき、高濃度の残留酸素および炭素ドーピングによりウエーハの機械的強度、耐スリップ性を改善できる。また、残留酸素濃度に影響されない適度の酸素析出物(BMD)の生成により、優れたゲッタリング能を確保できる。

#### 【0023】

ウエーハ中の炭素濃度が $5 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ 未満であると、酸素ドナーの生成の抑制効果が不十分となる。また、 $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ を超えると、結晶育成時に有転位化する恐れがあり、単結晶化が困難となる。特に好ましい炭素濃度は $1 \times 10^{16} \sim 3 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ である。

#### 【0024】

好ましいウエーハ中の残留酸素濃度はO1d-ASTMで $8 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$

$\text{cm}^3$  超である。これが  $8 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下であると機械的な強度の低下を招く。残留酸素濃度の上限については特に規定しないが、酸素濃度が高くなるほど酸素析出が顕著になり、ユーザー側で実施されるデバイス熱処理条件によっては、酸素析出過多による基板表面への欠陥発生が懸念されることや、後述する初期酸素濃度に対する制限などの点から  $2.5 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下が好ましい。特に好ましい残留酸素濃度は、下限については  $1.0 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以上であり、上限については  $2.0 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下、更には  $1.6 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下である。

#### 【0025】

本発明の高抵抗シリコンウエーハのタイプは問わない。そのタイプを例示すると以下のとおりである。

#### 【0026】

① 本発明の高抵抗シリコンウエーハでは、ゲッタリング能を確保するために、適量の酸素析出物が有効とされるが、その酸素析出物は一方で、デバイス形成プロセスにおける有害な欠陥となる場合もあり、特にウエーハ表層部に存在する酸素析出物は、デバイス特性を劣化させる大きな原因になる。このため、ウエーハの少なくとも表層部から酸素析出物を取り除くことが望まれる。この観点から、ウエーハ表面から少なくとも  $5 \mu\text{m}$  以上の深さにわたって DZ (Denuded Zone) 層が形成された DZ ウエーハに本発明は適用可能である。

#### 【0027】

DZ 層の形成は、酸素外方拡散熱処理 [OD (Oxygen Out-Diffusion) 処理] により行うことができる。OD 処理条件としては  $1100 \sim 1200^\circ\text{C} \times 1 \sim 4$  時間が好ましい。この OD 処理は、高温であるため、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねることができる。また、OD 処理雰囲気を選択により、結晶成長過程で生じる COP [Crystal Originated Particle : 空孔の集合体で (111) 面で囲まれたボイド欠陥] 等の grown-in 欠陥をウエーハ表層部から排除することができる。

#### 【0028】

即ち、OD 処理雰囲気としては、窒素ガス、酸素ガス、水素ガス、アルゴンガ

スなどがある。これらのOD処理雰囲気のうち、水素ガス、アルゴンガス又はこれらの混合ガス雰囲気では、ウエーハ表層部からCOPを排除することができる。これは、COPフリーでないウエーハには有効な操作である。

#### 【0029】

ちなみに、ここにおけるDZ層は、乾燥酸素雰囲気中において $1000^{\circ}\text{C} \times 16$ 時間の熱処理後、ウエーハを劈開し、選択エッチング液〔HF:HNO<sub>3</sub>:CrO<sub>3</sub>:Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O:CH<sub>3</sub>COOH=1200cc:600cc:250g:40g:1700cc:1200cc〕でウエーハ劈開面を2 $\mu$ mエッチングし、光学顕微鏡にてウエーハ表面から1点目のエッチピットまでの距離で規定される。

#### 【0030】

② OD処理に類似する熱処理としてランプアニール処理とも呼ばれる高速昇温・高速降温のRTA (Rapid Thermal Anneal) 処理がある。この処理を受けるウエーハにも本発明は有効であり、且つ、その処理は、温度によっては、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねることができる。

#### 【0031】

③ これらの熱処理とは別に、ゲッタリング能を確保するために、酸素析出物を積極的に作り込むIG (Intrinsic Gettering) 処理も行われることがある。IG処理は酸素析出核形成熱処理であるが、これに続いて酸素析出物成長熱処理が行われることもある。このIG処理処理を受けるウエーハにも本発明は有効であり、とりわけ後者の酸素析出物成長熱処理は、高温であるため、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねることができる。

#### 【0032】

④ 同様の観点から、ウエーハ表面上にエピタキシャル層を形成したエピタキシャルウエーハに本発明は有効である。

#### 【0033】

⑤ 同様の観点から、SOIウエーハのベースウエーハに本発明は有効である。SOIウエーハは、貼り合わせ型でもSIMOX型でもよい。貼り合わせ型ウエーハの製造では、貼り合わせ工程で高温熱処理が行われる。この高温熱処理も、

酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねることができる。一方、SIMOX型の製造では、酸素イオン注入後に、BOX層を形成するための高温熱処理が行われる。この高温熱処理も、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねることができる。

#### 【0034】

⑥ 以上はウエーハの厚み方向の欠陥分布に着目したが、ウエーハ径方向の欠陥分布によってもウエーハを分類することができる。結晶引き上げ工程での操作等により結晶径方向全域から大型COPや転位クラスタ等のGrown-in欠陥を排除した無欠陥結晶から得たCOPフリーのウエーハに本発明は有効である他、径方向の少なくとも一部にCOPが存在する通常ウエーハにも本発明は有効である。

#### 【0035】

⑦ COPフリーウエーハに関しては、OD処理のところでも触れたが、無欠陥結晶から得たCOPフリーウエーハだけでなく、水素ガス又はアルゴンガス或いはこれらの混合ガス雰囲気中での1150～1200℃で1～4時間のアニールにより、表層部からCOPを除去したCOPフリーのアニールウエーハにも本発明は有効である。ここにおけるアニールも、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねることができる。なおCOPフリーとは、具体的には、ウエーハ表面上で観察される0.12μmサイズ以上のLPD (Light Point Defect) の密度が0.2個/cm<sup>2</sup>以下に制御された状態をいう。

#### 【0036】

本発明の高抵抗シリコンウエーハの製造方法においては、ウエーハ中の炭素濃度を $5 \times 10^{15} \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>としたことにより、残留酸素濃度を高レベルに維持しつつ、酸素ドナーの生成抑制、特にサーマルドナーの抑制に有効である。さらに、炭素ドーピングに加えて800℃以上の熱処理を行うならばサーマルドナーのみならずニュードナーの生成も効果的に抑制され、これら両面から比抵抗値を安定させることができる。

#### 【0037】

シリコンウエーハ中の初期酸素濃度（熱処理前の酸素濃度）は、残留酸素濃度がO1d-ASTMで $8 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>超となる範囲内でBMDの生成

量を考慮して選択される。定量的には、BMDを生成させない場合があることを考慮して  $8 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  超が好ましく、 $10 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以上が特に好ましい。初期酸素濃度の上限については、酸素の固溶限の点、下記の過剰な酸素析出の点などから、 $25 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下が好ましく、 $20 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下、更には  $18 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下が特に好ましい。酸素濃度が極端に高いと、酸素析出が過剰に起こるために、酸素析出物や積層欠陥、転位などの2次欠陥がウエーハの表層のデバイス活性層に発生しデバイス特性を劣化させる。しかし、一方では酸素析出処理を行わない場合もあり、上限は  $25 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  まで許容される。

#### 【0038】

熱処理後の残留酸素濃度については、前述した理由により O1d-ASTMで  $8 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  超、 $25 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下が好ましい。この場合も、酸素析出を問題にしないユーザーがあり、上限は  $25 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  まで許容される。

#### 【0039】

CZシリコンウエーハは、そのタイプに固有の種々の熱処理を受ける。これらの既存熱処理、例えばDZ層を形成するための酸素外方拡散熱処理やRTA処理、SIMOX熱処理、貼り合わせ熱処理、COP除去アニールなどの、ウエーハタイプに固有の既存処理が、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼用できることは前述したとおりである。

#### 【0040】

また、ウエーハタイプに固有の既存熱処理に加えて、酸素ドナーの生成抑制に有効な専用処理も有効である。更に、酸素析出物を生成するための酸素析出核形成熱処理、更には酸素析出物成長熱処理を、専用或いは兼用で実施することも可能である。

#### 【0041】

酸素外方拡散熱処理としては  $1100 \sim 1200^\circ\text{C} \times 1 \sim 4$  時間が好ましい。この酸素外方拡散熱処理により、ウエーハ表層部が低酸素化し、酸素析出物の形成成長が阻止されることにより、DZ層が形成される。また、酸素ドナーの生成



が抑制される。

#### 【0042】

SIMOXウエーハの製造でのBOX層を形成するための高温酸化熱処理は、通常1250～1400℃×1～20時間である。熱処理雰囲気は酸素ガス、アルゴンガス、またはこれらの混合ガスである。

#### 【0043】

貼り合わせウエーハの製造では、貼り合わせを目的とした熱処理の他に、支持基板の表面に所望の膜厚で熱酸化膜を形成することを目的として1000℃以上の温度で酸化処理を行う。いずれの熱処理も酸素ドナーの生成抑制に有効である。

#### 【0044】

COP除去アニールとしては、水素ガス雰囲気、アルゴンガス雰囲気又はこれらの混合ガス雰囲気での1150～1200℃×1～4時間処理が好ましい。

#### 【0045】

ゲッターリング能を確保するためのIG処理のうち、酸素析出核形成熱処理の条件としては比較的低温の550～850℃×1～16時間が好ましく、酸素析出物成長熱処理条件としては高温の900～1100℃×1～20時間が好ましい。後者の酸素析出物成長熱処理は、その温度からして、酸素ドナーの生成抑制に特に有効である。

#### 【0046】

このように、本発明の高抵抗シリコンウエーハは、炭素ドーピングにより酸素サーマルドナーの生成を抑制できるが、ウエーハタイプに固有の各種熱処理の利用により、多くの種類のウエーハでは格別の操作なしに、より効果的に酸素ドナーの生成を抑制できる。したがって、実質的には炭素ドーピングのみにより、サーマルドナー及びニュードナーの生成を抑制でき、酸素ドナーの生成による不安定な比抵抗値の低下を、極めて経済的に防止できる。

#### 【0047】

#### 【発明の実施の形態】

以下に本発明の第1実施形態～第4実施形態を説明する。

## 【0048】

(第1実施形態: DZウエーハ)

第1ステップとして、通常のCZ法により高酸素・高抵抗の炭素ドープシリコン単結晶を育成する。第2ステップとして、そのシリコン単結晶から、例えば酸素量  $10 \sim 18 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$ 、炭素量  $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  で、高抵抗 ( $100 \Omega \text{cm}$  以上) の初期基板を採取する。

## 【0049】

第3ステップとして、初期基板に  $1100 \sim 1200^\circ\text{C} \times 1 \sim 4$  時間のOD処理を施す。OD処理により、後述する熱処理での酸素析出物 (BMD) の形成が阻止される。これにより、製品ウエーハの表面から少なくとも  $5 \mu\text{m}$  以上の深さにわたってDZ (Denuded Zone) 層を形成する。

## 【0050】

このOD処理は、窒素ガスと酸素ガスの混合ガス雰囲気で行うことができる。また、水素ガス雰囲気中で行うことができる。また、アルゴンガス雰囲気中で行うことができる。更に、水素とアルゴンの混合ガス雰囲気中で行うことができる。

## 【0051】

第4ステップとして、以上のごとき初期基板に酸素析出核形成熱処理を  $550 \sim 850^\circ\text{C} \times 1$  時間以上の条件で行う。好ましくは  $700^\circ\text{C}$  以上で行う。次いで、酸素析出物成長熱処理として、 $900 \sim 1100^\circ\text{C} \times 1$  時間以上の熱処理を行う。

## 【0052】

第4ステップでの熱処理により、 $100 \Omega \text{cm}$  以上の高抵抗シリコンウエーハの内部に酸素析出物 (BMD) が  $1 \times 10^4$  個  $/ \text{cm}^2$  以上の密度で形成される。そして、ウエーハ中の酸素濃度は例えば  $8 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  超、 $16 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以下に低減される。

## 【0053】

こうして製造されたシリコンウエーハ製品がデバイスメーカーに出荷される。この製品の特徴は以下のとおりである。

## 【0054】

第1に、酸素濃度が比較的高い汎用のシリコンウエーハを初期基板とするので経済性に優れる。第2に、ウエーハ表層部から酸素析出物が排除されているので、デバイス特性に優れる。第3に、ウエーハ内部に大型の酸素析出物(BMD)が高密度に形成されることによりゲッターリング能に優れる。第4に、最終酸素濃度が比較的高く、また炭素がドーピングされているので機械的強度及び耐スリップ性に優れる。第5に、炭素ドーピングによる酸素サーマルドナーの抑制作用及びウエーハ製造プロセスで受ける各種の高温熱処理による酸素ドナーの抑制作用のため、最終酸素濃度が比較的高レベルであるにもかかわらず、デバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの発生による抵抗値の不安定な変動が回避される。

## 【0055】

更に、OD処理での雰囲気として水素ガス、アルゴンガスを選択したものでは、grown-in欠陥の縮小、更には消滅も可能であり、ウエーハ表面上で観察される $0.12\mu\text{m}$ サイズ以上のLPD (Light Point Defect) の密度を $0.2\text{個}/\text{cm}^2$ 以下に低減することができる。

## 【0056】

(第2実施形態：エピタキシャルウエーハ)

第1ステップとして、通常のCZ法により高酸素・高抵抗の炭素ドーピングシリコン単結晶を育成する。第2ステップとして、そのシリコン単結晶から、例えば酸素量 $10\sim 18\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以上、炭素量 $5\times 10^{15}\sim 5\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ で、高抵抗( $100\Omega\text{cm}$ 以上)の初期基板を採取する。

## 【0057】

第3ステップとして、初期基板に $1100\sim 1200^\circ\text{C}\times 1\sim 4$ 時間のOD処理を施す。第4ステップとして、酸素析出核形成熱処理を $550\times 850^\circ\text{C}\times 1$ 時間以上の条件で行う。第5ステップとして、酸素析出核形成熱処理、酸素析出物成長熱処理として、 $900\sim 1100^\circ\text{C}\times 1$ 時間以上の熱処理を行う。

## 【0058】

第6ステップとして、第2までの処理、第3までの処理、第4までの処理、又

は第5ステップまでの処理をした各基板に5  $\mu$ mのエピタキシャル成長処理を行う。

【0059】

こうして製造されたエピタキシャルシリコンウェーハ製品の特徴は以下の通りである。

【0060】

TD (サーマルドナー) およびND (ニュードナー) 等の酸素ドナーの形成が抑制されているかどうかを調べるため、それぞれのウェーハに400℃×2時間のサーマルドナー生成熱処理及び750℃×8時間のニュードナー生成熱処理を行った。どのステップでエピタキシャル層を成長させたウェーハも酸素ドナーの形成は認められない。

【0061】

特に、第2ステップ後にエピタキシャル層を成長させたウェーハは、最も安価で経済性に優れ、デバイスプロセスの熱処理を経ても酸素ドナー発生による抵抗率変動のないエピタキシャルシリコンウェーハとして有効である。

【0062】

また、第3ステップ後にエピタキシャル層を成長させたウェーハは、基板表面の酸素が外方拡散しているため、エピタキシャル成長処理中あるいはデバイスプロセスの熱処理において基板表面部にBMDが析出しないことから、BMD析出起因によるエピタキシャル層への欠陥発生がない高品位なエピタキシャルシリコンウェーハとして有効である。

【0063】

また、第4ステップでエピタキシャル層を成長させたものは、DZ層も形成され、酸素析出核もウェーハ内部に十分に存在していることから、高温で長時間の熱処理を含むデバイスプロセスに採用した場合には、デバイスプロセスの熱処理によって十分な酸素析出物の成長が期待でき、ゲッタリング能に優れたエピタキシャルシリコンウェーハとして有効である。

【0064】

また、第5ステップでエピタキシャル層を成長させたウェーハでは、DZ層も

確保され、BMDもすでに十分に成長しているため、デバイスプロセスの初期の段階から十分なゲッタリング能を発揮するエピタキシャルシリコンウェーハとして有効である。

#### 【0065】

そして、上述した各ステップ後にエピタキシャル成長を行ったウェーハは、いずれも、デバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの発生による抵抗値の変動を回避できることは言うまでもない。

#### 【0066】

(第3実施形態: SIMOXウェーハ)

第1ステップとして、通常のCZ法により高酸素・高抵抗の炭素ドーブシリコン単結晶育成する。第2ステップとして、そのシリコン単結晶から、例えば酸素量  $10 \sim 18 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以上、炭素量  $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$  で、高抵抗 ( $100 \Omega \text{cm}$  以上) の初期基板を採取する。

#### 【0067】

第3ステップとして、酸素イオンを  $30 \sim 200 \text{keV}$  に加速し、これを初期基板の表面側から約  $10^{18} \text{atoms} / \text{cm}^3$  の密度でイオン注入する。第3ステップで得られた基板に、第4ステップとして  $1250 \sim 1400^\circ\text{C} \times 1 \sim 20$  時間の熱処理を酸素ガス、アルゴンガスまたはこれらの混合ガス中で行い、基板内部にBOX層 (埋め込み酸化膜層) を形成する。

#### 【0068】

こうして製造されたSIMOXウェーハ製品の特徴は以下のとおりである。

#### 【0069】

酸素濃度が比較的高い汎用のシリコンウェーハを初期基板とするので経済性に優れる。最終酸素濃度が比較的高く、また炭素がドーブされているので機械的強度及び耐スリップ性に優れる。炭素ドーブによる酸素サーマルドナーの抑制作用及びウェーハ製造プロセスで受ける各種の高温熱処理による酸素ドナーの抑制作用のため、最終酸素濃度が比較的高レベルであるにもかかわらず、デバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの発生による抵抗値の不安定な変動が回避される。

## 【0070】

(第4実施形態: 貼り合わせウエーハ)

第1ステップとして、通常のCZ法により高酸素・高抵抗の炭素ドープシリコン単結晶育成する。第2ステップとして、そのシリコン単結晶から、例えば酸素量  $10 \sim 18 \times 10^{17} \text{ atoms / cm}^3$  以上、炭素量  $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17} \text{ atoms / cm}^3$  で、高抵抗 ( $100 \Omega \text{ cm}$  以上) の初期基板を採取する。

## 【0071】

第3ステップは、貼り合わせSOIウエーハの製造方法に依存するが、一連のウエーハ製造工程において約  $1000^\circ\text{C}$  の熱処理を酸素雰囲気中で行って、初期基板の表面にBOX酸化膜となる熱酸化膜を形成する。

## 【0072】

第4ステップとして、以上のごとき初期基板を支持基板として、活性層となる他基板と約  $800^\circ\text{C}$  の熱処理で張り合わせる。なお、厚膜のSOIウエーハを製造する場合には、活性層となる他の基板も支持基板と同様の炭素ドープした高抵抗シリコン基板を使用してもよい。

## 【0073】

第5ステップとして、活性層側ウエーハを厚さ  $0.5 \mu\text{m}$  まで研磨・エッチングする。

## 【0074】

こうして製造された張り合わせSOIウエーハ製品の特徴は以下のとおりである。

## 【0075】

酸素濃度が比較的高い汎用のシリコンウエーハを初期基板とするので経済性に優れる。最終酸素濃度が比較的高く、また炭素がドープされているので機械的強度及び耐スリップ性に優れる。受ける各種の高温熱処理による酸素ドナーの抑制作用のため、最終酸素濃度が比較的高レベルであるにもかかわらず、デバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの発生による抵抗値の不安定な変動が回避される。

## 【0076】

**【実施例】**

次に、本発明の実施例を示し、比較例と対比することより、本発明の効果を明らかにする。

**【0077】****(第1実施例)**

CZ法により育成されたシリコン単結晶から次の2種類の8インチサンプルウエーハを切り出した。第1のサンプルウエーハは、P型で比抵抗値が $1000\ \Omega\text{cm}$ 、酸素濃度が $15 \times 10^{17}\text{atoms} / \text{cm}^3$ の炭素ノンドープ品である。第2のサンプルウエーハは、P型で比抵抗値が $1000\ \Omega\text{cm}$ 、酸素濃度が $15 \times 10^{17}\text{atoms} / \text{cm}^3$ 、炭素濃度が $1 \times 10^{16}\text{atoms} / \text{cm}^3$ の炭素ドープ品である。

**【0078】**

両ウエーハに $650^\circ\text{C} \times 30$ 分の酸素ドナー消去熱処理(DK処理)を行った後、次の3つのパターンの熱処理を実施した。第1のパターンでは、3%の酸素を含む窒素雰囲気中での $1150^\circ\text{C} \times 3.5$ 時間のOD処理のみを行った。第2のパターンでは、このOD処理の後に、酸素析出核形成熱処理として3%の酸素を含む窒素雰囲気中で $700^\circ\text{C} \times 1 \sim 8$ 時間又は $750^\circ\text{C} \times 2 \sim 16$ 時間の等温熱処理を実施した。第3のパターンでは、この等温熱処理の後に、更に酸素析出物成長熱処理として窒素雰囲気中で $1000^\circ\text{C} \times 16$ 時間の高温熱処理を実施した。

**【0079】**

炭素ノンドープウエーハ及び炭素ドープウエーハにDK処理のまま(後の熱処理を行わずに)、窒素雰囲気中で $400^\circ\text{C} \times 1 \sim 4$ 時間のサーマルドナー生成熱処理を行った。熱処理後に酸素ドナー密度を測定した。測定は四探針法を用いて抵抗率の測定を行い、DK処理後の抵抗率との差から酸素ドナー量を計算により求めることにより行った。測定結果を図2に示す。炭素ドープのみにより酸素ドナーの生成が抑制されることが分かる。特に、 $400^\circ\text{C} \times 2$ 時間までは、炭素ノンドープウエーハに比較して炭素ドープウエーハでの酸素ドナーの生成が抑制されることが分かる。

## 【0080】

炭素ドープウエーハに対して第2パターンの熱処理を実施した後の結果を図3に示す。700℃×1～8時間又は750℃×2～16時間の等温熱処理は、酸素析出核形成熱処理であるが、一方でニードナー生成熱処理でもある。1150℃×3.5時間のOD処理を受けると、等温熱処理後も酸素ドナーの発生が抑制される。

## 【0081】

炭素ドープウエーハに対して第1パターン、第2パターン及び第3パターンの各熱処理を実施した後、それぞれに窒素雰囲気中で400℃×1～4時間のサーマルドナー生成熱処理を行った。サーマルドナー生成熱処理後に酸素ドナー密度を測定した結果を図4(a)～(c)に示す。

## 【0082】

図4(a)または図4(b)と図2の比較から分かるように、1150℃×3.5時間のOD処理、またはその後の750℃の酸素析出核生成処理により、400℃×2時間まで酸素ドナーの生成がより抑制されることが分かる。図4(c)からは、酸素析出物成長熱処理としての1000℃×16時間の高温熱処理が酸素ドナーの生成抑制にさらに有効こと、及びその有効性は残存酸素濃度の影響を受けないことが分かる。

## 【0083】

参考までに、炭素ノンドープウエーハに第3の熱処理を実施したときの結果を図5(a)及び(b)に示す。図5(a)に示すように、OD処理をした場合、等温熱処理での処理時間が延長しても残存酸素濃度は十分に低下せず、酸素サーマルドナーの生成を抑制することは困難である。また、図5(b)に示すように、OD処理なしの場合には、等温熱処理の処理時間の延長につれて残存酸素濃度が低下し(酸素析出物が増加し)、これに伴って酸素ドナーの生成が抑制されるが、図4(c)に示した炭素ドープほどの効果は得られない。また、このようなOD処理のない熱処理では、DZ層が形成されないため、デバイスに適用できない。

## 【0084】



OD処理を含む熱処理による酸素析出物の生成によって、図4(c)に示す炭素ドープ効果と同等の効果を得るために、初期酸素濃度が $1.5 \times 10^{17} \text{ atoms / cm}^3$ の炭素ノンドープウェーハにOD処理+ $700^\circ\text{C} \times 64 \text{ 時間}$ + $1000^\circ\text{C} \times 16 \text{ 時間}$ という熱処理を行ったが、残存酸素濃度は $1.2 \times 10^{17} \text{ atoms / cm}^3$ にしか低下せず、酸素サーマルドナーの生成を十分に抑制できなかったことから、さらに長時間の非現実的な熱処理が必要となる。

#### 【0085】

ちなみに、ここでの酸素ドナーの許容値は、 $400^\circ\text{C} \times 2 \text{ 時間}$ の熱処理後に発生する酸素サーマルドナーが、 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 以下とした。デバイスプロセスにおいて、AlまたはCu等の金属配線工程の後に $400^\circ\text{C}$ または $350^\circ\text{C}$ で30分程度のシンター熱処理が行われる。このような金属配線は数層に積層され、各層毎に上記の熱処理が行われる。このため、 $400^\circ\text{C}$ で2時間程度の熱処理が施されても、 $100 \Omega \text{ cm}$ 以上、より好ましくは $1000 \Omega \text{ cm}$ 以上の抵抗率が維持される必要がある。このような条件を満たす酸素ドナーの許容値として上記の値を設定した。4探針測定には、測定誤差がありDK処理後のp型の場合、抵抗値より低い値がでることもある。そのばらつきは、ドナー量にして $5 \times 10^{12} \text{ atoms / cm}^3$ 以内である。

#### 【0086】

##### (第2実施例)

CZ法により育成されたシリコン単結晶から次の5種類の8インチサンプルウェーハを切り出した。第1のサンプルウェーハは、P型で比抵抗値が $1000 \Omega \text{ cm}$ 、酸素濃度が $1.5 \times 10^{17} \text{ atoms / cm}^3$ の炭素ノンドープ品である。第2～5のサンプルウェーハは、P型で比抵抗値が $1000 \Omega \text{ cm}$ 、酸素濃度が $1.5 \times 10^{17} \text{ atoms / cm}^3$ 、炭素濃度が $5 \times 10^{15}$ 、 $1 \times 10^{16}$ 、 $5 \times 10^{16}$ 、 $1 \times 10^{17} \text{ atoms / cm}^3$ の炭素ドープ品である。

#### 【0087】

これらのウェーハに $650^\circ\text{C} \times 30 \text{ 分}$ の酸素ドナー消去熱処理(DK処理)を行った後、3%の酸素を含む窒素雰囲気中で $1150^\circ\text{C} \times 3.5 \text{ 時間}$ のOD処理を行い、さらに、酸素析出核形成熱処理として3%の酸素を含む窒素雰囲気中で

炭素ノンドープウェーハには700℃×8時間、炭素ドープウェーハには750℃×2時間の等温熱処理を実施し、更に酸素析出物成長熱処理として窒素雰囲気中で1000℃×16時間の高温熱処理を実施した。

#### 【0088】

これらのDZ-IG処理ウェーハに、窒素雰囲気中で400℃×4時間の酸素サーマルドナー生成熱処理を行った。熱処理後の各ウェーハの抵抗率測定の結果から酸素ドナーの生成量を算出した。炭素ドープウェーハの場合には、抵抗率の変動は小さく、酸素ドナーの生成量は許容値以内であったが、炭素ノンドープウェーハの場合には、許容値を超えて酸素ドナーが生成した。この結果から、炭素濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{atoms} / \text{cm}^3$  以上が酸素ドナーの生成抑制に有効であることが分かる。

#### 【0089】

(第3実施例)

CZ法により育成されたシリコン単結晶から次の2種類の8インチサンプルウェーハを切り出した。第1のサンプルウェーハは、P型で比抵抗値が1000Ωcm、酸素濃度が $15 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$ の炭素ノンドープ品である。第2のサンプルウェーハは、P型で比抵抗値が1000Ωcm、酸素濃度が $15 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$ 、炭素濃度が $1 \times 10^{16} \text{atoms} / \text{cm}^3$ の炭素ドープ品である。

#### 【0090】

これらのウェーハに水素雰囲気中で1200℃×1時間の水素アニールを施した。アニール直後および窒素雰囲気中で400℃×4時間のサーマルドナー生成熱処理後の抵抗率の測定から酸素ドナー量を求めた。求めた酸素ドナー量を図6に示す。アニール直後には両ウェーハとも抵抗率の変動は小さく許容値以下の酸素ドナーの生成量であった。400℃×4時間の熱処理後、炭素ドープウェーハ中の酸素ドナーの生成量はやはり許容量以下であったが、炭素ノンドープウェーハの場合は許容量以上であった。このことから、炭素ドープウェーハに対して既存の水素アニールの熱処理が酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を兼ねることが分かる。

## 【0091】

## (第4実施例)

CZ法により育成された単結晶から8インチウェーハを切り出した。このウェーハはp型で、比抵抗が $2000\ \Omega\text{cm}$ 、酸素濃度が $15 \times 10^{17}\text{atoms} / \text{cm}^3$ 、炭素濃度が $1 \times 10^{16}\text{atoms} / \text{cm}^3$ である。

## 【0092】

このウェーハに $650^\circ\text{C} \times 30$ 分の酸素ドナー消去熱処理(DK処理)を行った後、次の熱処理を実施した。最初に3%の酸素を含む窒素雰囲気中で $1150^\circ\text{C} \times 3.5$ 時間のOD処理を行い、次に同様の雰囲気中で $750^\circ\text{C} \times 2$ 時間の酸素析出核形成熱処理を行った。このウェーハに、p型で比抵抗が $10\ \Omega\text{cm}$ 、層厚が $5\ \mu\text{m}$ になるようにエピタキシャル成長を行った。

## 【0093】

このエピタキシャルウェーハに $400^\circ\text{C} \times 2$ 時間のサーマルドナー生成熱処理および $750^\circ\text{C} \times 8$ 時間のニュードナー生成熱処理を行ったが、基板の比抵抗はDK処理後の $2000\ \Omega\text{cm}$ 以上を維持した。

## 【0094】

## (第5実施例)

CZ法により育成されたシリコン単結晶から次の2種類の8インチサンプルウェーハを切り出した。第1のサンプルウェーハは、P型で比抵抗値が $1000\ \Omega\text{cm}$ 、酸素濃度が $15 \times 10^{17}\text{atoms} / \text{cm}^3$ の炭素ノンドープ品である。第2のサンプルウェーハは、P型で比抵抗値が $1000\ \Omega\text{cm}$ 、酸素濃度が $15 \times 10^{17}\text{atoms} / \text{cm}^3$ 、炭素濃度が $1 \times 10^{16}\text{atoms} / \text{cm}^3$ の炭素ドープ品である。

## 【0095】

両ウェーハに $650^\circ\text{C} \times 30$ 分の酸素ドナー消去熱処理(DK処理)を行った後、酸素イオンを表面側から $100\text{keV}$ の加速電圧で打ち込んだ。そして、この基板を $700^\circ\text{C}$ に保持した熱処理炉に投入した後、 $1320^\circ\text{C}$ まで升温し、10時間保持した。その後、基板を $700^\circ\text{C}$ まで冷却し、炉から取り出すことでSIMOXウェーハを製造した。

## 【0096】

炭素ドープウェーハおよび炭素ノンドープウェーハを用いて製造したSIMOXウェーハに、窒素雰囲気中で400℃×4時間のサーマルドナー生成熱処理を行った。サーマルドナー生成熱処理後に酸素ドナー密度を測定した結果を図7に示す。図7からわかるように、炭素ドープされたSIMOXウェーハでは、酸素ドナーの生成が抑制されている。一方、炭素ノンドープSIMOXウェーハでは、酸素ドナーの生成は若干抑制されるが、炭素ドープほどの効果は得られないことがわかる。

## 【0097】

(第6実施例)

CZ法により育成されたシリコン単結晶から次の2種類の8インチサンプルウェーハを切り出した。第1のサンプルウェーハは、P型で比抵抗値が1000Ωcm、酸素濃度が $1.5 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$ の炭素ノンドープ品である。第2のサンプルウェーハは、P型で比抵抗値が1000Ωcm、酸素濃度が $1.5 \times 10^{17} \text{atoms} / \text{cm}^3$ 、炭素濃度が $1 \times 10^{16} \text{atoms} / \text{cm}^3$ の炭素ドープ品である。

## 【0098】

両ウェーハに650℃×30分の酸素ドナー消去熱処理(DK処理)を行った後、これらのウェーハに1000℃の熱処理を酸素雰囲気中に行って、初期基板の表面に熱酸化膜を形成した。次に、これらの基板が支持基板となるよう、活性層となる他ウェーハと800℃で接合した。その後、活性層側ウェーハを厚さ0.5μmまで研磨・エッチングすることで貼り合わせSOIウェーハを製造した。

## 【0099】

炭素ドープウェーハおよび炭素ノンドープウェーハを用いて製造した貼り合わせSOIウェーハに、窒素雰囲気中で400℃×4時間のサーマルドナー生成熱処理を行った。サーマルドナー生成熱処理後に酸素ドナー密度を測定した。炭素ドープ貼り合わせウェーハの抵抗率は、DK処理後の抵抗率からの変動が小さく酸素ドナーの生成が許容値以内に抑制されていた。一方、炭素ノンドープ貼り合

わせウエーハでは、酸素ドナーの生成は若干抑制されるが、炭素ドーピングほどの効果は得られなかった。

#### 【0100】

##### 【発明の効果】

以上に説明したとおり、本発明の高抵抗シリコンウエーハは、炭素ドーピングにより、残留酸素濃度を低下させずに、デバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの生成を抑制できる。これにより、ウエーハの機械的強度を確保でき、熱処理コストも低減できる。更に、残留酸素濃度に影響されずに適度の酸素析出物を生成させることにより、ゲッタリング能にも優れる。

#### 【0101】

また、本発明の高抵抗シリコンウエーハの製造方法は、炭素ドーピングに加えて、酸素ドナーの生成抑制に有効な熱処理を行うことにより、酸素ドナーの生成をより効果的に抑制できる。しかも、その熱処理に、ウエーハタイプに固有の各種熱処理を利用できるので、熱処理コストの増大を回避でき、優れた経済性を維持できる。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

酸素ドナーがウエーハの抵抗率に与える影響を示すグラフである。

#### 【図2】

炭素ドーピングが酸素ドナーの生成に及ぼす影響を示すグラフである。

#### 【図3】

炭素ドーピング品において熱処理の有無が酸素ドナーの生成に及ぼす影響を示すグラフである。

#### 【図4】

(a) ～ (c) は炭素ドーピング品において熱処理の種類が酸素ドナーの生成に及ぼす影響を示すグラフである。

#### 【図5】

(a) 及び (b) は炭素ノンドーピング品において残存酸素濃度が酸素ドナーの生成に及ぼす影響を示すグラフである。

## 【図6】

水素アニールが酸素ドナー生成に及ぼす影響を炭素ドープウエーハおよび炭素ノンドープウエーハについて示すグラフである。

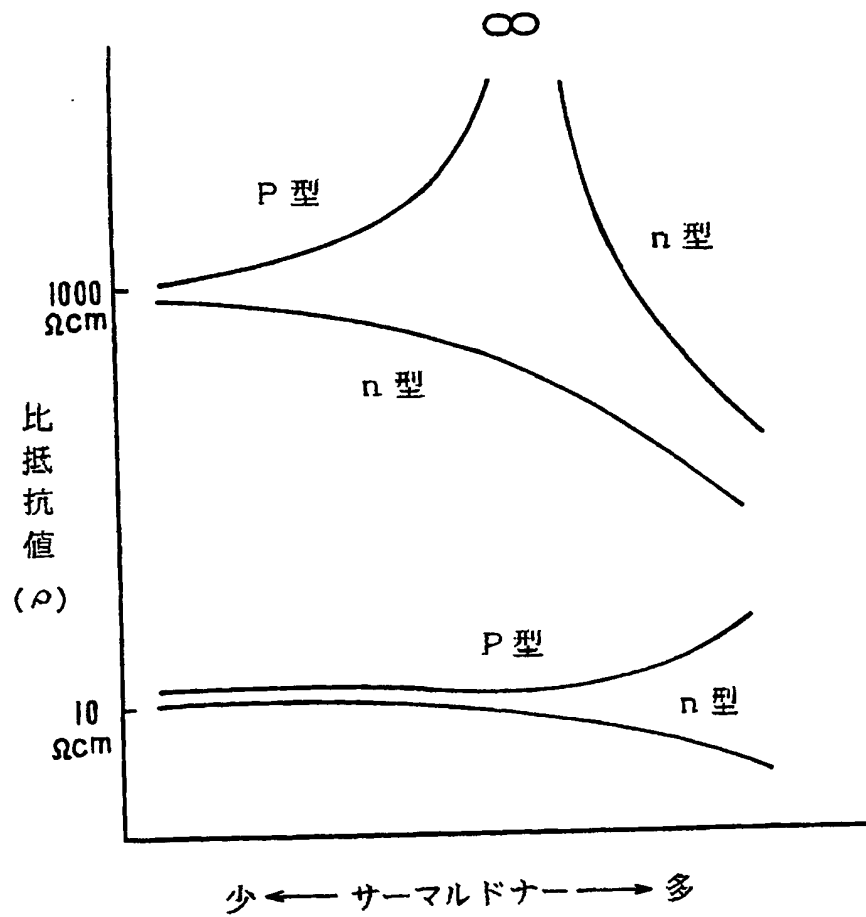
## 【図7】

SIMOXウエーハ製造プロセスにおけるBOX層形成高温熱処理が酸素ドナー生成に及ぼす影響を炭素ドープウエーハおよび炭素ノンドープウエーハについて示すグラフである。

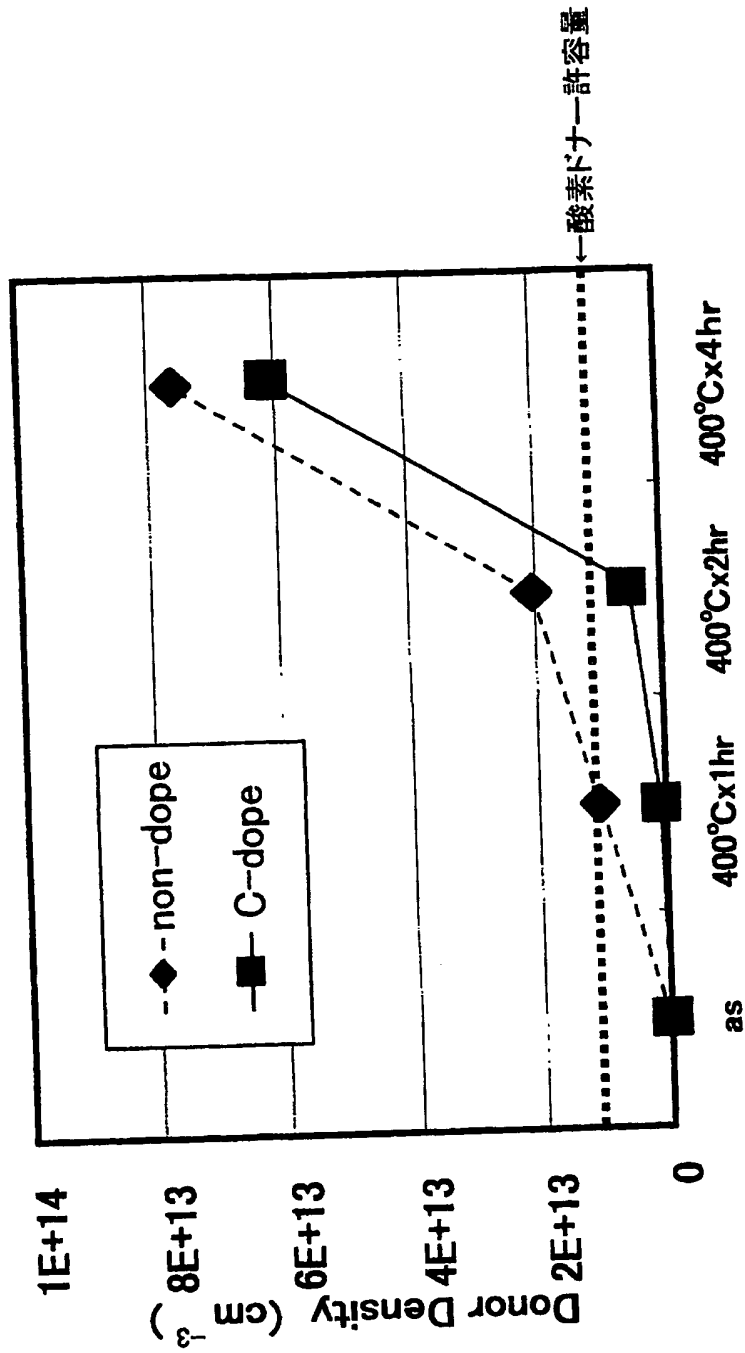
【書類名】

図面

【図1】

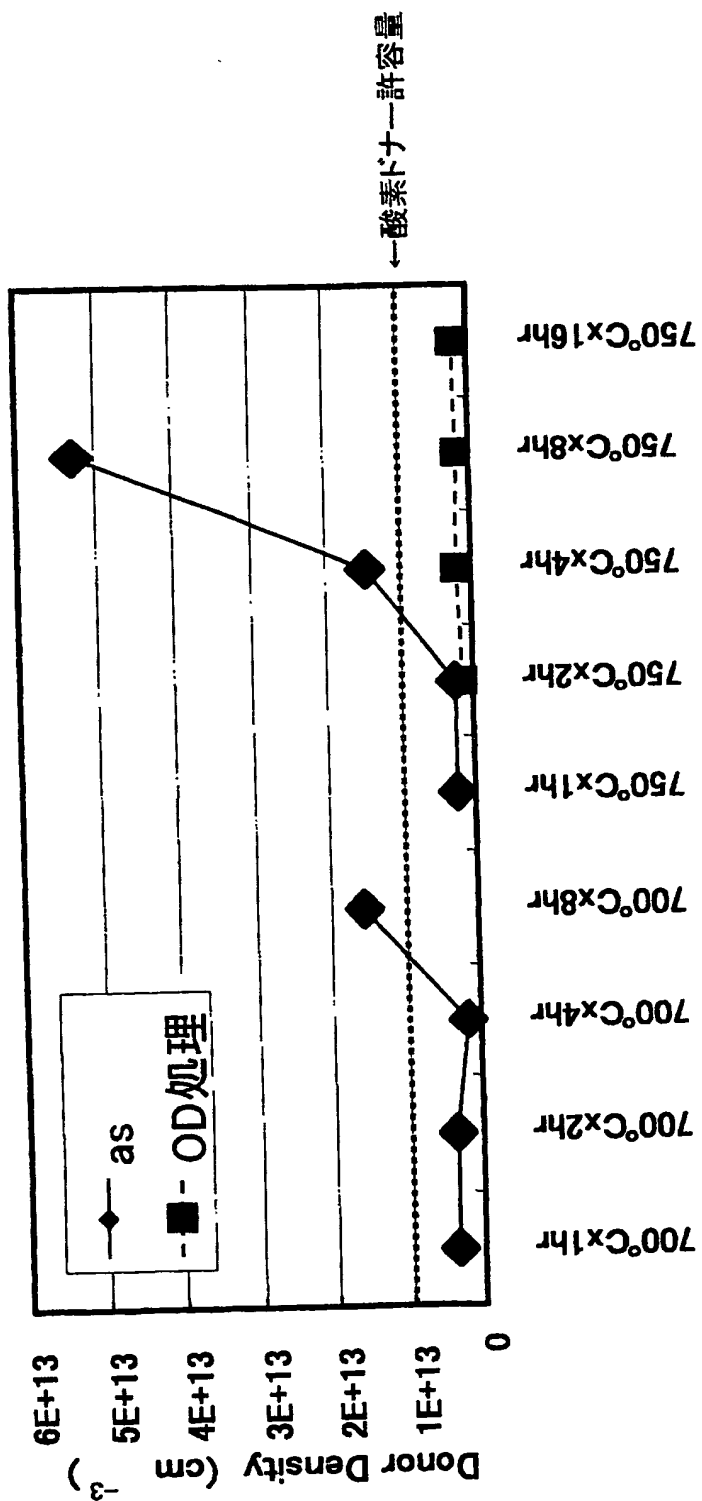


【図 2】

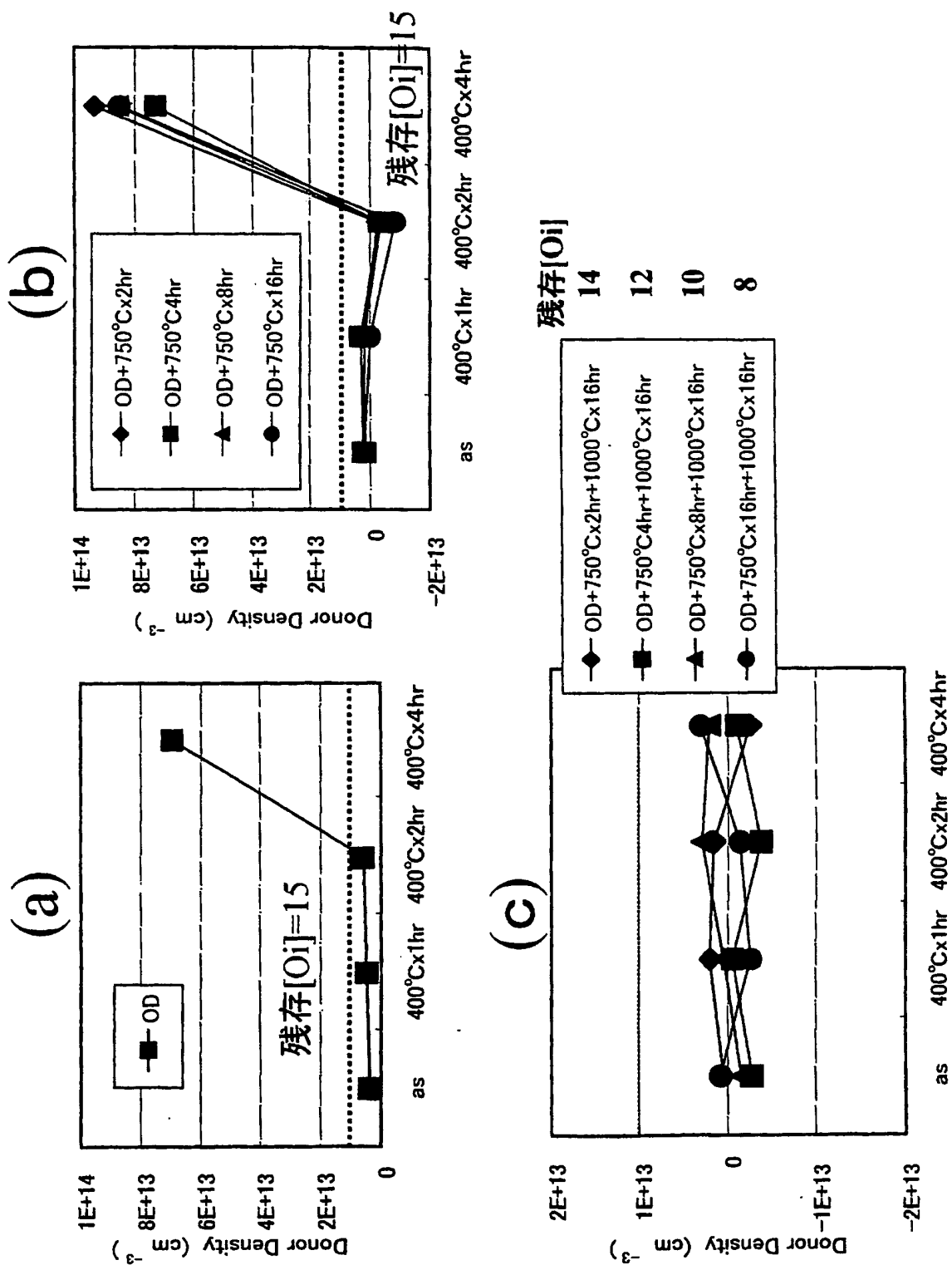




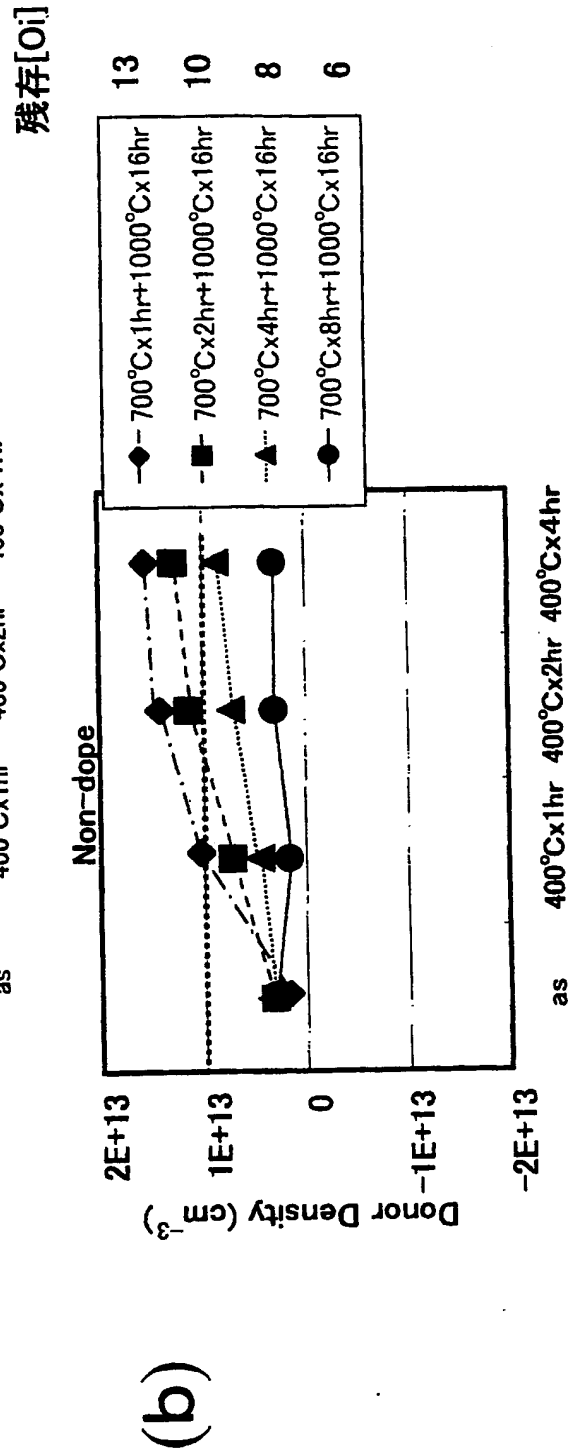
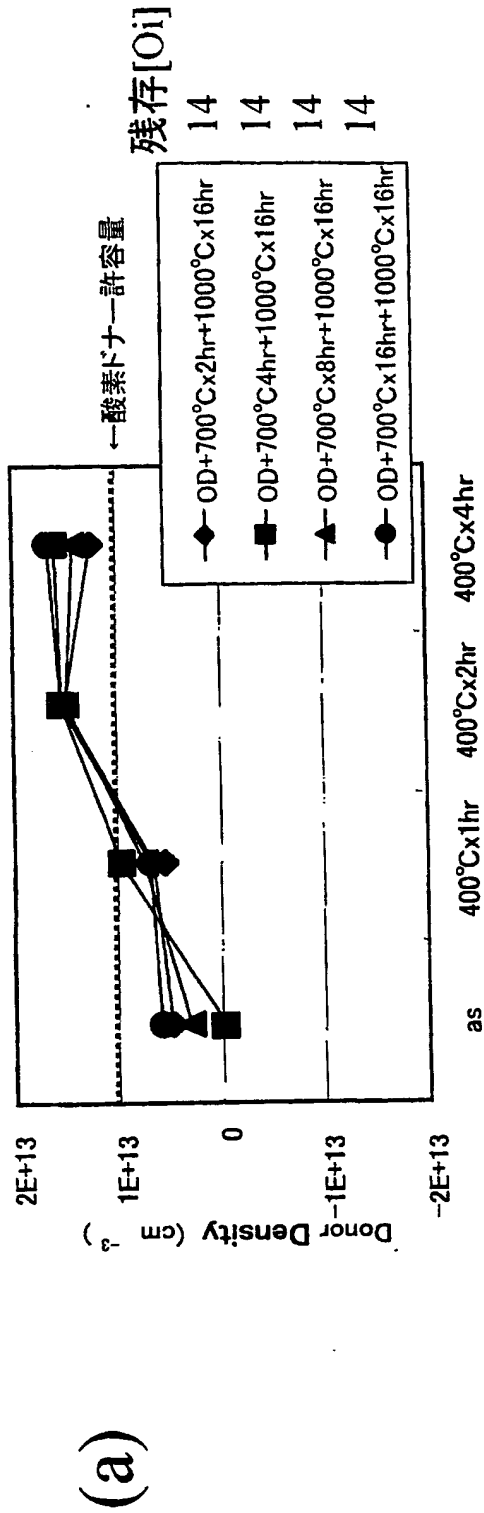
【図 3】



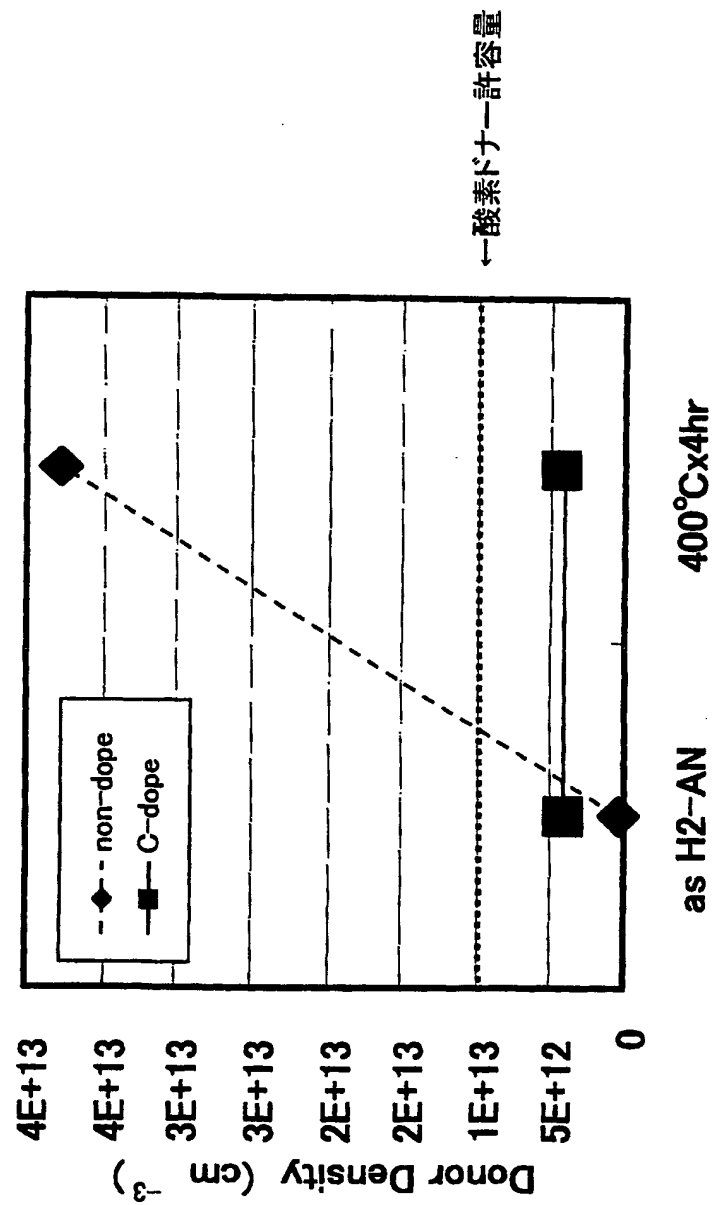
【図 4】



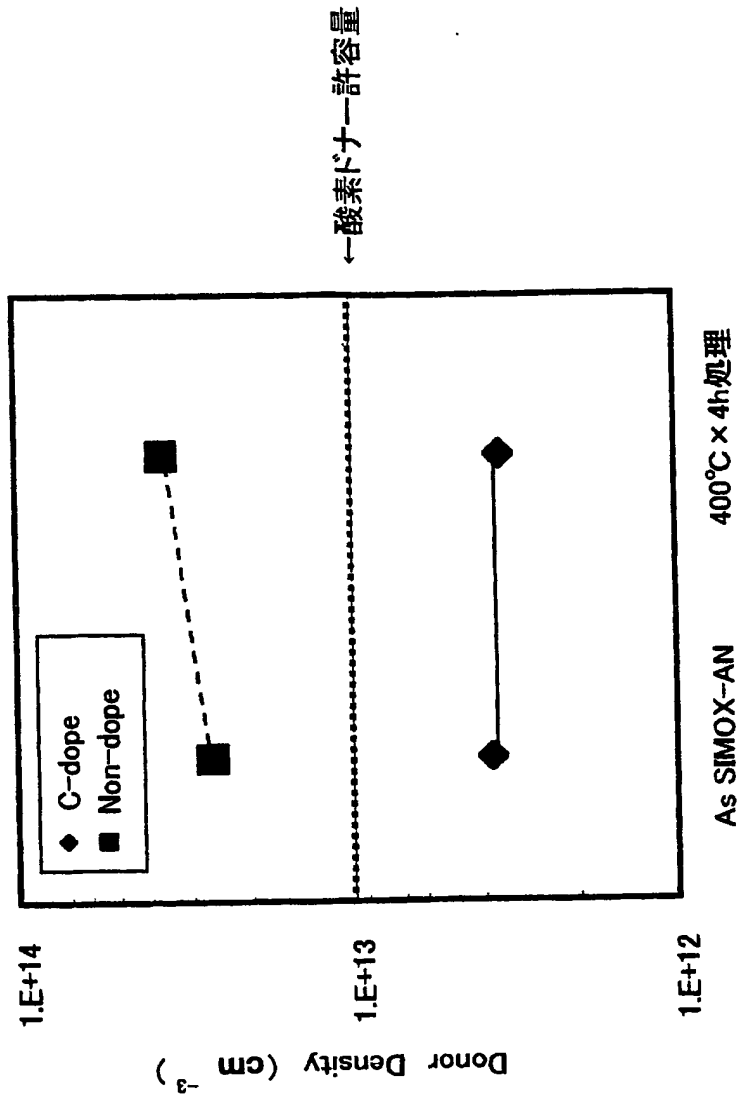
【図 5】



【図6】



【図7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ゲッタリング能及び経済性に優れ、しかもデバイスメーカーの側で実施される回路形成用熱処理での酸素ドナーの発生を効果的に抑制できる高抵抗シリコンウエーハを製造する。

【解決手段】 比抵抗値が $100\Omega\text{cm}$ 以上で、炭素濃度が $5\times 10^{15}\sim 5\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ の炭素ドープ高抵抗・高酸素シリコンウエーハに、残留酸素濃度が $0.1\text{d-ASTM}$ で $8\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 超となるように、 $800^\circ\text{C}$ 以上の高温熱処理を行う。この高温熱処理は、ウエーハ表層部にDZ層を形成するためのOD処理や、ゲッタリング能を確保するための酸素析出物成長熱処理、表層のCOPを除去するための高温アニール、SIMOXウエーハ製造プロセスにおけるBOX層形成用の高温熱処理等で代用される。

【選択図】 なし

## 認定・付加情報

特許出願の番号 特願 2002-208515  
受付番号 50201049184  
書類名 特許願  
担当官 第五担当上席 0094  
作成日 平成14年 9月17日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

## 【手数料の表示】

【納付金額】 20,100円

## 【特許出願人】

【識別番号】 302006854

【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目2番1号

【氏名又は名称】 三菱住友シリコン株式会社

## 【代理人】

申請人

【識別番号】 100059373

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区瓦町4丁目6番15号 (瓦町浪速ビル) 大生特許事務所

【氏名又は名称】 生形 元重

## 【代理人】

【識別番号】 100088498

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区瓦町4丁目6番15号 (瓦町浪速ビル) 大生特許事務所

【氏名又は名称】 吉田 正二

次頁無

特願 2002-208515

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[302006854]

1. 変更年月日

2002年 1月31日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝浦一丁目2番1号

氏 名

三菱住友シリコン株式会社